

Metode Pengurangan Spektral Tak Linier Untuk Estimasi Amplitudo Spektral

¹Ali Mustofa

Abstract—Estimasi amplitudo spektral membentuk dasar sistem pengembalian signal, seperti pengurangan derau wicara, dimana distorsi fasa dapat dihilangkan. Bentuk estimasi spektral amplitudo adalah pengurangan spektral.

Metode ini adalah untuk pengembalian spektrum daya atau spektrum magnitudo dari sinyal yang diobservasi dalam derau tambahan melalui pengurangan dari estimasi spektrum derau rata-rata dari spektrum sinyal yang berderau.

Spektrum yang berderau akan diestimasi dan diperbaharui dalam periode tersebut. Untuk pengembalian dari sinyal dengan domain waktu, estimasi dari spektrum magnitudo sesaat akan dikombinasikan dengan fasa dari sinyal yang berderau dan kemudian ditransformasikan melalui transformasi balik diskret Fourier menjadi domain waktu.

Dalam penelitian ini akan membahas pengurangan spektral tak linier. Metode pengurangan spektral tak linier ini untuk mengurangi tingkat derau residu dengan cara dengan mengurangi derau karena terjadi pengurangan yang berlebih (atau *over-estimasi* dari spektrum derau). Dalam metode ini porsi derau yang dikurangi dari sinyal diatur secara adaptif sesuai dengan rasio sinyal terhadap derau atau *signal to noise ratio* (SNR). Pada metode ini dapat memberikan hasil yang dapat diperbaiki.

Kata Kunci— amplitudo, fasa, fourier, SNR, spektral

I. PENDAHULUAN

PENGEMBALIAN sinyal masukan dengan sinyal yang berderau akan mungkin dikurangi oleh estimasi derau dari sinyal berderau.

Akan tetapi, dalam banyak aplikasi, seperti penerima telpon seluler yang berderau, Dalam banyak aplikasi masukkan tunggal tidak mungkin untuk menggagalkan derau acak, tapi ini dimungkinkan untuk mengurangi efek rata-rata dari derau sinyal amplitudo spektral tersebut.

Pengaruh derau tambahan pada amplitudo spektral dari sinyal tersebut akan menambah rata-rata dan varians spektrum dari sinyal tersebut. Penambahan dalam varians spektrum sinyal tersebut menghasilkan fluktuasi acak dari derau tersebut [1].

Metode estimasi amplitudo spektral menggunakan model distribusi sinyal dan derau untuk menyediakan

estimasi amplitudo dari spektrum amplitudo dari sinyal yang bersih. Pengaruh gangguan fasa dari spektrum sinyal diabaikan. Metode estimasi amplitudo spektral mengurangi estimasi derau dari sinyal yang berderau.

II. REPRESENTASI SPEKTRAL SINYAL BERDERAU

Asumsi bahwa sinyal berderau $y(m)$ dimodelkan sebagai jumlah sinyal $x(m)$ dan derau $n(m)$ dinyatakan

$$y(m) = x(m) + n(m) \quad (1)$$

Dengan variabel integer m adalah indeks waktu diskret. Sinyal dan derau tak berkorelasi dan asumsinya bahwa sinyal dan derau dibangkitkan dengan sumber bebas.

Untuk mengubah sinyal menjadi domain frekuensi, sampel sinyal dibagi menjadi bingkai-bingkai *overlapping* dengan ukuran bingkai N sampel. Ukuran bingkai dibatasi oleh waktu tunda yang diijinkan dari sistem komunikasi dan dengan asumsi dalam transformasi fourier bahwa sinyal adalah stasioner. Untuk panjang bingkai sinyal audio berkisar 25 ms, meskipun dalam beberapa sistem panjang bingkai berubah dengan kecepatan perubahan dalam karakteristik sinyal, panjang bingkai lebih pendek dipilih untuk sinyal yang berubah cepat dan panjang bingkai yang lebih panjang untuk sinyal yang lebih *steady*. Dalam domain frekuensi dinyatakan

$$Y(k) = X(k) + N(k) \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (2)$$

Dengan variabel $X(k)$, $N(k)$ dan $Y(k)$ adalah transformasi diskret fourier waktu pendek dari wicara, derau dan wicara berderau dan indeks integer k merepresentasi variabel frekuensi diskret [2]. Hal ini berhubungan dengan frekuensi sesungguhnya dengan $2k\pi/N$ rad/s atau kF_s/N Hz dengan F_s adalah frekuensi sampling dalam Hz.

Persamaan (2) dengan bentuk kartesian kompleks dapat ditulis dalam bentuk polar kompleks dengan magnitudo dan fasa dari sinyal dan derau pada frekuensi k dan dinyatakan

$$Y_k e^{j\theta_{Y_k}} = X_k e^{j\theta_{X_k}} + N_k e^{j\theta_{N_k}}, \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (3)$$

Dengan $Y_k = |Y(k)|$ dan

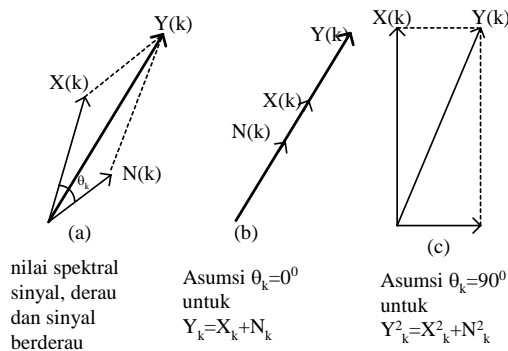
$\theta_{Y_k} = \tan^{-1}\{\text{Im}[Y(k)] / \text{Re}[Y(k)]\}$ adalah magnitudo dan fasa dari spektrum frekuensi.

III. REPRESENTASI VEKTOR DARI SPEKTRUM SINYAL BERDERAU

Spektrum sinyal berderau $Y(k)$ adalah jumlah vektor dari spektrum dari sinyal bersih $X(k)$ dan derau $N(k)$. Amplitudo spektrum kuadrat dari sinyal berderau adalah

$$Y_k^2 = X_k^2 + N_k^2 + 2X_k N_k \cos(\theta) \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (4)$$

Dengan θ adalah sudut antara vektor spektral kompleks dari sinyal wicara $X(k)$ dan derau $N(k)$. Kecuali kalau bentuk perkalian silang, $2X_k N_k \cos(\theta)$ dalam Persamaan (3) dimodelkan dalam proses estimasi amplitudo spektral dan ini sebagai kontribusi untuk kesalahan estimasi.



Gambar 2. (a) Vektor spektral kompleks dari sinyal, derau dan resultan sinyal berderau (b) asumsi vektor spektral sinyal dan derau dalam fasa (c) asumsi vektor sinyal dan derau mempunyai beda fasa $\pi/2$.

Gambar (2) menunjukkan hubungan antara vektor spektral kompleks dari sinyal berderau $Y(k)$, sinyal $X(k)$ dan derau. Gambar 2b menunjukkan bahwa asumsi amplitudo spektrum dari sinyal berderau adalah jumlah amplitudo spektra sinyal dan derau adalah ekuivalen untuk asumsi bahwa sudut antara vektor spektral sinyal wicara dan derau $\theta_k = 0$. Asumsi ini menyatakan diatas estimasi dari derau atau ekuivalensi dengan dibawah estimasi dari sinyal tersebut. Gambar 2c menunjukkan bahwa asumsi dari amplitudo spektrum kuadrat (spektra daya sesaat) dari sinyal berderau adalah jumlah kuadrat amplitudo sepakta dari sainyal dan derau adalah ekuivalen untuk asumsi bahwa sudut antara vektor speltral sinyal wicara dan derau adalah $\theta_k = 90$. Asumsi ini dapat menyatakan dibawah estimasi (jika $\theta_k < 90$) atau diatas estimasi (jika $\theta_k > 90$) dari derau.

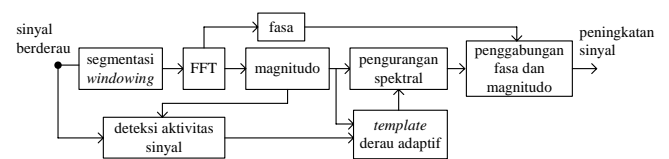
IV. PENGURANGAN SPEKTRAL

Dalam pengurangan spektral, estimasi amplitudo spektral dari sinyal ditentukan dengan pengurangan setimasi amplitudo spektral dari derau dari sinyal

berderau. Blok diagram dibawah menunjukkan metode pengurangan spektral.

Dalam pengurangan spektral, sinyal datang $x(m)$ dibagi menjadi bingkai-bingkai dengan N panjang sampel. Masing-masing bingkai, di-*window*-kan menggunakan *window* (hanning) dan kemudian ditransformasikan melalui transformasi fourier diskret dengan N sampel spektral. *Window* mengurangi pengaruh ketakkontinyuan pada ujung titik dari masing-masing segmen [3], Sinyal ter-*window* adalah

$$\begin{aligned} y_w(m) &= w(m)y(m) \\ &= w(m)[x(m) + n(m)] \\ &= x_w(m) + n_w(m) \end{aligned} \quad (5)$$



Gambar 3. Ilustrasi Diagram blok dengan sistem pengurangan spektral.

Operasi *windowing* dinyatakan dalam domain frekuensi

$$\begin{aligned} Y_w(f) &= W(f) * Y(f) \\ &= X_w(f) + N_w(f) \end{aligned} \quad (6)$$

Tanda $*$ menyatakan operasi konvolusi. Pengurangan spektral adalah

$$\hat{X}_k^b = Y_k^b - \alpha(k) \overline{N_k^b} \quad (7)$$

Dengan \hat{X}_k^b adalah estimasi dari spektrum magnitudo sinyal dengan b dan $\overline{N_k^b}$ adalah magnitudo waktu-rata-rata dari spektra derau untuk daya b . Dengan asumsi bahwa derau adalah proses acak stationer. Pada pengurangan spektral magnitudo, eksponen $b=1$ dan pada pengurangan spektral daya dari sinyal berderau. Pada pengurangan derau penuh, $\alpha(k)=1$ dan pada pengurangan berlebih $\alpha(k)>1$. Spektrum derau dengan waktu rata-rata ditentukan dari periode saat sinyal tidak ada dan hanya derau yang ada dinyatakan

$$\overline{N_k^b} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} N_{k,i}^b \quad (8)$$

Dalam Persamaan (8) $N_{k,i}^b$ adalah spektrum dengan bingkai derau ke- i pada frekuensi diskret k dan ini diasumsikan dengan M bingkai dalam periode hanya pada derau, dengan M adalah variabel. Spektrum amplitudo derau rata-rata dapat ditentukan sebagai luaran filter LP orde pertama

$$\overline{X_{k,i}^b} = a \overline{X_{k,i-1}^b} + (1-a) X_{k,i}^b \quad (9)$$

Nilai koefisien filter LP a adalah antara 0.85 sampai 0.99 [4]. Untuk pengembalian sinyal domain waktu, estimasi spektrum amplitudo \hat{X}_k^b digabungkan dengan fasa dari sinyal yang berderau dan ditransformasikan ke domain waktu melalui transformasi balik fourier dan dinyatakan

$$\hat{x}(m) = \sum_{k=0}^{N-1} (\hat{X}_k e^{j\theta_{Y_k}}) e^{j(2\pi/N)km} \quad m = 0, \dots, N-1 \quad (10)$$

Dengan θ_{Y_k} adalah fasa frekuensi sinyal berderau $Y(k)$, Persamaan pengembalian sinyal dalam Persamaan (10) berdasarkan pada asumsi bahwa derau yang dapat didengar adalah dikarenakan gangguan dari spektrum magnitudo dan gangguan fasa adalah yang tak dapat didengar. Hasil estimasi dari pengurangan spektral mungkin negatif dari daya atau spektrum amplitudo karena kemungkinan sebagai rasio sinyal terhadap derau menurun [5]. Untuk menghindari estimasi negatif, luaran pengurangan spektral diolah menggunakan fungsi pemetaan $T[\cdot]$ dari bentuk tersebut.

$$T\left[\hat{X}_k\right] = \begin{cases} \hat{X}_k & \text{jika } \hat{X}_k > \beta Y_k \\ fn[Y_k] & \text{untuk nilai yang lain} \end{cases} \quad (11)$$

Sebagai contoh, dengan memilih aturan bahwa jika estimasi $\hat{X}_k > 0,01Y_k$ (dengan spektrum magnitudo 0.01 adalah ekivalen dengan -40 dB) kemudian \hat{X}_k harus dipasang sebagai fungsi sinyal berderau $fn[Y_k]$. $fn[Y_k] = noise\ floor$, dengan $noise\ floor$ adalah konstanta positif. Alternatif lainnya $fn[Y_k] = \beta Y_k$. Dalam kasus ini

$$T\left[\hat{X}_k\right] = \begin{cases} \hat{X}_k & \text{jika } \hat{X}_k > \beta Y_k \\ \beta Y_k & \text{untuk nilai yang lain} \end{cases} \quad (12)$$

Pengurangan spektral diimplementasikan dalam domain spektral daya atau magnitudo.

4.1 Pengurangan Spektrum Daya

Pengurangan spektrum daya atau pengurangan spektrum magnitudo kuadrat dinyatakan

$$\hat{X}_k^2 = Y_k^2 - \overline{N_k^2} \quad (13)$$

Dimana ini diasumsikan bahwa $\alpha(k)$ (faktor pengurangan dalam persamaan 7 adalah 1. Persamaan 13 diturunkan dari persamaan 4 jika diasumsikan bahwa spektral sinyal dan derau tegak lurus seperti dalam Gambar 2c.

Spektrum daya $E[X_k^2]$, spektrum daya dengan rata-rata waktu $\overline{X_k^2}$ dan spektrum daya sesaat X_k^2 .

Dengan perluasan spektrum daya sesaat dari sinyal berderau Y_k^2 dan mengelompokkan bentuk tersebut maka Persamaan (13) menjadi

$$\hat{X}_k^2 = X_k^2 + \underbrace{\left(N_k^2 - \overline{N_k^2}\right)}_{\text{variasi derau}} + \underbrace{X_k^* N_k + X_k N_k^*}_{\text{perkalian silang}} \quad (14)$$

Ekspektasi kedua sisi dari persamaan (14) diambil dan diasumsikan bahwa proses sinyal dan derau adalah proses ergodic tak berkorelasi maka

$$E\left[\hat{X}_k^2\right] = E\left[X_k^2\right] \quad (15)$$

Dari persamaan (15), rata-rata dari estimasi spektrum daya sesaat bertemu pada spektrum daya dari sinyal bebas derau. Akan tetapi, untuk pengembalian sinyal tak stasioner seperti wicara, tujuan untuk mengembalikan spektrum waktu-singkat atau sesaat dan hanya jumlah kecil yang relatif dari rata-rata dapat dipakai. Terlalu banyak rata-rata akan mengaburkan kejadian spektral temporal. Dalam penurunan persamaan 15 tidak dianggap pembetulan tak linier dari estimasi negatif dari spektrum magnitudo kuadrat.

4.2 Pengurangan Spektrum Magnitudo

Pengurangan spektrum magnitudo dinyatakan

$$\hat{X}_k = Y_k - \overline{N_k} \quad (16)$$

Dimana $\overline{N_k}$ adalah spektrum magnitudo dengan rata-rata waktu dari derau. Persamaan 16 diambil dari persamaan 4 jika in diasumsikan vektor spektral derau adalah fasa dan dinyatakan

$$\begin{aligned} \hat{X}_k &= E[Y_k] - E[\overline{N_k}] \\ &= E[X(k) + N(k)] - E[\overline{N_k}] \\ &\approx E[X_k] \end{aligned} \quad (17)$$

Untuk pengembalian sinyal dalam estimasi magnitudo digabung dengan fasa dari sinyal berderau dan ditransformasikan ke domain waktu menggunakan Persamaan 10.

4.3 Pengurangan Spektral Tak linier

Penggunaan pengurangan spektral pada Persamaan 7 mungkin memperburuk kandungan informasi dari sinyal. Seperti perbaikan sinyal audio, derau musik dapat menyebabkan penurunan mutu sinyal dan dalam pengenalan wicara dalam pengurangan pengurangan spektral dapat menghasilkan akurasi pengenalan wicara yang buruk. Dalam banyak literatur, ada banyak varian pengenalan wicara yang bertujuan untuk menyediakan perbaikan kinerja yang konsisten dalam jangkauan SNR-nya. Metode ini untuk mengestimasi spektrum derau.

Metode pengurangan spektral tak linier adalah metode heuristik yang mengestimasi SNR lokal dan mengobservasi pada SNR rendah, pengurangan yang tinggi dapat memberikan hasil yang dapat diperbaiki.

Persamaan dasar pengurangan spektral adalah

$$\begin{aligned}\hat{X}_k &= Y_k - \overline{N_k} \\ &\approx X(k) + N(k) - \overline{N_k} \\ &\approx X_k + V_N(k)\end{aligned}\quad (25)$$

$V_N(k)$ adalah komponen acak rata-rata nol dari spektrum derau. Jika $V_N(k)$ bagus diatas sinyal X_k maka sinyal mungkin dianggap seperti kehilangan derau, ini disebut pengurangan berlebih menghasilkan redaman derau yang tinggi. Argumen ini menjelaskan mengapa pengurangan lebih dari rata-rata derau terkadang menghasilkan hasil yang lebih baik [6]. Varian pengurangan spektral tak linear mempunyai

$$\hat{X}_k = Y_k - \alpha[\text{SNR}(k)]\overline{N_k} \quad (26)$$

$\alpha[\text{SNR}(k)]$ adalah faktor pengurangan SNR tak bebas dan $\overline{N_k}$ adalah estimasi amplitudo spektral dari derau. Estimasi amplitudo spektral diolah lebih jauh untuk menghindari estimasi negatif dengan

$$\hat{X}_k = \begin{cases} \hat{X}_k & \text{jika } \hat{X}_k > \beta Y_k \\ \beta Y_k & \text{untuk nilai yang lain} \end{cases} \quad (27)$$

Faktor pengurangan SNR tak bebas untuk persamaan (26) adalah

$$\alpha[\text{SNR}(k)] = 1 + \frac{\text{sd}(\overline{N_k})}{\overline{N_k}} \quad (28)$$

$\text{sd}(\overline{N_k})$ adalah simpangan baku dari derau pada frekuensi diskret k . Untuk derau putih $\text{sd}(\overline{N_k}) = \sigma_n$ dengan σ_n^2 adalah varians derau. Substitusi persamaan (28) ke dalam persamaan (26) maka

$$\hat{X}_k = Y_k - \left[1 + \frac{\text{sd}(\overline{N_k})}{\overline{N_k}}\right]\overline{N_k} \quad (29)$$

Dalam persamaan (29) faktor pengurangan tergantung pada rata-rata dan varians dari derau. Jumlah *oversubtracted* adalah simpangan baku dari derau. Untuk derau deterministik dengan varians nol seperti gelombang sinus $\alpha[\text{SNR}(f)] = 1$ dan pada nilai ekstrim untuk derau putih $\alpha[\text{SNR}(f)] = 2$. Dalam aplikasi untuk pengenalan wicara nilai faktor pengurangan terbaik berkisar 1 hingga 2.

Filter pengurangan spektral tak linier dinyatakan sebagai adalah

$$H_k = \frac{\overline{Y_k^2} - NL(\overline{N_k^2})}{\overline{Y_k^2}} \quad (30)$$

$$NL(\overline{N_k^2}) = \Phi \left[\max_{\text{over } M \text{ frames}} (N_k^2), \text{SNR}(k), \overline{N_k^2} \right] \quad (31)$$

Estimasi spektrum derau adalah fungsi dari nilai maksimum dari spektrum derau sepanjang M bingkai dan SNR. Fungsi taklinier $\Phi(\bullet)$ adalah

$$\Phi \left[\max_{\text{over } M \text{ frames}} (N_k^2), \text{SNR}(k), \overline{N_k^2} \right] = \frac{\max_{\text{over } M \text{ frames}} (N_k^2)}{1 + \gamma \text{SNR}(k)} \quad (32)$$

Dengan γ adalah parameter desain. Dari Persamaan 32, jika SNR menurun, luaran *estimator* $\Phi(\bullet)$ mendekati $\max(N_k^2)$ dan jika SNR naik maka luaran mendekati nol. Untuk pengurangan yang berlebih, estimasi derau ditekan menjadi estimasi yang berlebih maka hal ini menggunakan fungsi sebagai berikut:

$$\overline{N_k^2} \leq \Phi \left[\max_{\text{over } M \text{ frames}} (N_k^2), \text{SNR}(k), \overline{N_k^2} \right] \leq 3\overline{N_k^2} \quad (33)$$

Redaman maksimal filter pengurangan spektral dibatasi $H_k \geq \beta$ dengan nilai batas bawah biasanya $\beta \geq 0,01$.

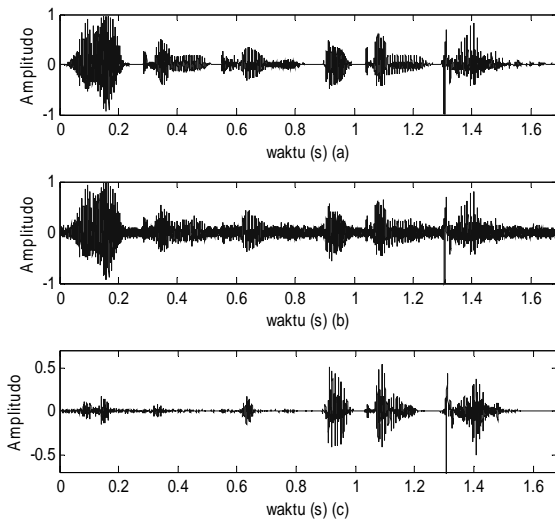
V. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

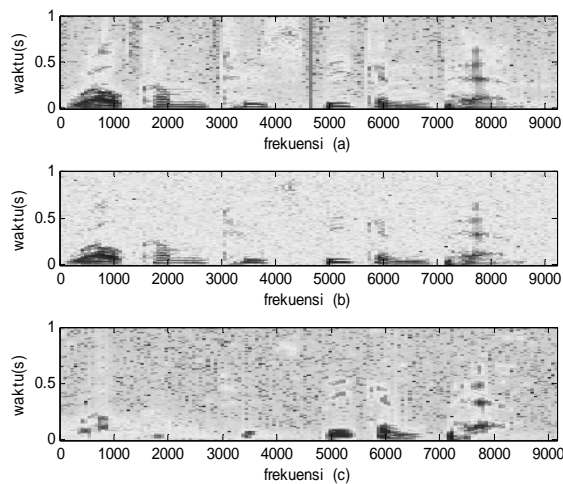
Proses perekaman suara, hasil perekaman merupakan sinyal wicara tanpa derau. Kemudian sinyal tersebut ditambahkan derau Gaussian sebesar 10 dB. Derau ini dibangkitkan acak dengan rata-rata nol (*zero mean*). Hasil sinyal berderau ini digunakan untuk menguji algoritma pengurangan spektral tak linier seperti yang telah dibahas di 4.3.

VI. HASIL EKSPERIMEN

Dalam bagian ini performansi algoritma dengan metode pengurangan spektral tak linier akan diujikan. Hasilnya seperti tampak dalam Gambar 4 yaitu keadaan sinyal dari sinyal bersih, sinyal dengan penambahan derau Gaussian dan terakhir hasil kinerja algoritma pengurangan spektral tak linier. Hasil dalam Gambar 4 (c) memberikan informasi pengurangan spektral tampak jelas, meskipun begitu informasi yang dikandungnya masih dapat dimengerti. Dan dalam Gambar 5 (c) merupakan hasil spektrogram setelah dilakukan pengurangan spektral tak linier dari hasil sinyal berderau dalam Gambar 5(b).



Gambar 4. (a) Sinyal bersih (tanpa derau) (b) Sinyal dengan penambahan derau Gaussian (10 dB) (c) Sinyal hasil pengurangan spektral tak linier.



Gambar 5. Spektrogram hasil eksperimen (a). Sinyal bersih (b) Sinyal dengan penambahan derau Gaussian (10 dB) (c) Sinyal hasil pengurangan spektral tak linier.

VII. KESIMPULAN

Metode dengan algoritma pengurangan spektral tak linier dapat melakukan pengurangan derau dari sinyal wicara yang diganggu oleh derau Gaussian putih (*white Gaussian noise*). Dan mengurangi derau musik dan juga meningkatkan sinyal wicara pada aplikasi kualitas pendengaran. Pembatasan dalam metode ini untuk aplikasi peningkatan kualitas dari sinyal yang diganggu oleh derau *colored*.

REFERENSI

- [1] A. Álvarez, R. Martínez, P. Gómez, V. Nieto, "A Speech Enhancement System Based On Negative Beamforming And Spectral Subtraction", Universidad Politécnica de Madrid – Facultad de Informática, 2005
- [2] E.A.P. Habets, "Single Channel Speech Dereverberation based on Spectral Subtraction", Technische Universiteit Eindhoven, Department of Electrical Engineering, Signal Processing Systems Group, MB Eindhoven, The Netherlands
- [3] Ehsan Nadernejad and Ali Behrad, "Enhancement of Nonlinear Spectral Subtraction Method with Applying LPC Analysis", Contemporary Engineering Sciences, Vol. 1, 2008, no. 2, 81 - 90
- [4] Francois Xavier Nsabimana, Vignesh Subbaraman and Udo Zölzer, "A Single Channel Speech Enhancement Technique Using Psychoacoustic Principles", 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009) Glasgow, Scotland, August 24-28, 2009
- [5] Rainer Martin, "Noise Power Spectral Density Estimation Based on Optimal Smoothing and Minimum Statistics", IEEE Transactions On Speech and Audio Processing, Vol. 9, No. 5, JULY 2001
- [6] Sheng Li, MingXi Wan, and SuPin Wang, "Multi-Band Spectral Subtraction Method for Electrolarynx Speech Enhancement", ISSN 1999-4893, Algorithms 2009